

ALTERAZIONE DI ALCUNI CARATTERI DEL REGIME PLUVIO-TERMOMETRICO SICILIANO NEL PERIODO 1916-1999

C.Agnese, V.Bagarello, G.Nicastro

Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-Forestali, Università degli Studi, Viale delle Scienze, 90128 Palermo

bagav@unipa.it

Riassunto

Nella nota sono state esaminate alcune modificazioni del regime pluvio-termometrico avvenute in cinque località siciliane nel periodo 1916-1999. L'indagine ha evidenziato una tendenza decrescente delle precipitazioni, dovuta principalmente all'incremento dell'intervallo di tempo tra eventi successivi, e un aumento delle temperature medie, particolarmente nei mesi freddi (Dicembre-Febbraio). Per la maggior parte delle stazioni, le modificazioni più accentuate hanno riguardato le temperature minime; per alcune stazioni, però, anche le temperature massime hanno mostrato variazioni apprezzabili. I risultati ottenuti, pur necessitando di specifiche verifiche e conferme, suggeriscono che le modificazioni climatiche in atto, influenzando significativamente sull'andamento temporale del contenuto idrico del suolo, possono suscitare un considerevole incremento della domanda d'acqua in agricoltura.

Abstract

Rainfall and air temperature time series collected in five Sicilian locations from 1916 to 1999 have been analyzed. Rainfall has showed a decreasing trend due to the increase of the time interval between rain events. Mean air temperature has showed an increasing trend, especially during the cold months (from December to February). In most locations, the increase of minimum air temperature has prevailed over that of maximum temperature. In some locations, maximum temperatures have also showed appreciable variations during the study period. The results obtained in this study need to be further analysed but they suggest that climatic variations can affect appreciably the soil water content and the demand for water resources for agriculture.

Introduzione

Negli ultimi decenni sono state rilevate apprezzabili modifiche di caratteri climatici in numerose località del pianeta. Estesi territori, tra cui quelli dell'Europa meridionale, stanno diventando più caldi e più secchi mentre in

altre aree si rileva una tendenza all'incremento sia delle temperature che delle precipitazioni (Smit et al., 1998; Moonen et al., 2002). Molti autori attribuiscono il riscaldamento terrestre all'intensificazione dell'effetto serra (Houghton et al., 1990) e ritengono che la tendenza al riscaldamento continuerà anche in futuro (Crisci et al., 2002) anche se la maggior parte degli studi finora condotti non consente di ritenere inequivocabilmente dimostrato un nesso causale tra i due fenomeni (Moonen et al., 2002). E' comunque ragionevole ritenere che l'alterazione del regime pluviometrico e termometrico possa avere un notevole impatto sulla risposta idrologica del suolo, condizionando ad esempio l'uso agricolo dei terreni coltivati o il regime dei deflussi fluviali e quindi la regolazione delle portate e il rischio idrogeologico. Alcuni studi, inoltre, evidenziano una chiara tendenza all'incremento del potenziale erosivo delle precipitazioni (Nearing, 2001).

Le previsioni sui cambiamenti climatici prodotti dall'intensificazione delle emissioni di gas serra si basano sull'applicazione di modelli di circolazione globale dell'atmosfera che, a causa della difficoltà di rappresentazione del fenomeno, presentano ancora elevati livelli di incertezza e frequentemente forniscono anche risultati contraddittori (Schlesinger e Mitchell, 1985; Cohen, 1991; Nearing, 2001). Si rende pertanto necessario un diffuso monitoraggio del clima, al fine sia di riconoscere sperimentalmente le modificazioni climatiche in atto che di validare localmente i modelli climatici. L'utilizzazione di una scala temporale di dettaglio per l'analisi dei dati climatici è particolarmente importante per quanto riguarda le precipitazioni, che si caratterizzano per una spiccata natura intermittente.

Il Dipartimento I.T.A.F. dell'Università di Palermo ha avviato uno studio sulle tendenze evolutive delle principali grandezze meteorologiche e agrometeorologiche nel territorio siciliano. Nel presente lavoro si esamina l'andamento delle serie storiche della pioggia giornaliera e delle temperature mensili rilevate alle stazioni di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina, per le quali si dispone di un prolungato periodo di osservazioni pluviometriche continue, a partire dal 1916.

Materiale e metodo

Sulla base delle informazioni contenute negli Annali Idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico della Regione Sicilia, nel territorio isolano, durante il periodo compreso tra il 1916 e il 1996, hanno funzionato complessivamente 359 stazioni pluviometriche. Solo 10 stazioni (2.8% del totale) hanno funzionato, però, per almeno 70 anni. Ai fini della presente indagine, si sono prescelte le stazioni di misura di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina. Le suddette stazioni sono caratterizzate dalla massima dimensione campionaria (tabella 1) e sono distribuite pressappoco uniformemente sul territorio regionale. Per tutte le stazioni si

dispone anche delle osservazioni termometriche, relativamente al periodo 1924-1996 (tabella 1). Presso il Servizio Idrografico Regionale è stato inoltre possibile reperire i dati pluviometrici e termometrici più recenti, rilevati cioè negli anni 1997-1999.

Per ciascuna stazione, sono state annotate le altezze giornaliere di pioggia, h_i (mm), non minori di 1 mm, e le corrispondenti date di occorrenza, d_i , e si sono determinati gli intertempi tra due eventi successivi $\Delta_i = d_{i+1} - d_i$ (giorni). La scala giornaliera rappresenta il massimo livello di dettaglio temporale con cui è direttamente disponibile l'informazione pluviometrica e consente di studiare esaurientemente le caratteristiche di intermittenza della pioggia. A seconda della stazione, le serie temporali comprendono da un minimo di 5111 a un massimo di 7324 eventi (tabella 1). I dati di temperatura massima, minima e media dell'aria sono stati acquisiti invece alla scala mensile, ritenuta sufficiente per riconoscere le modificazioni della temperatura intervenute negli ultimi decenni e per individuare i periodi dell'anno in cui tali variazioni tendono a concentrarsi. Per ciascuna stazione, la tabella 1 riporta gli statistici essenziali (media, μ , e coefficiente di variazione, CV) delle altezze giornaliere di pioggia, degli intertempi tra due eventi successivi e delle temperature medie annue dell'aria, T_a .

Per ciascuna stazione e per ciascun anno del periodo di osservazione, si è calcolato il valore medio dell'altezza degli eventi, η_j (mm), e dell'intervallo tra gli eventi, ω_j (giorni):

$$\eta_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} h_i \quad (1a)$$

$$\omega_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \Delta_i \quad (1b)$$

in cui n_j è il numero di eventi dell'anno j -esimo. I caratteri di non stazionarietà delle serie temporali di η_j e ω_j sono stati quindi riconosciuti sia con un approccio puramente qualitativo che mediante l'applicazione di specifici tests statistici. In particolare, un primo indizio della eventuale presenza di trend è stato ricercato osservando l'andamento della media progressiva:

$$m_n(\eta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i \quad (2a)$$

$$m_n(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (2b)$$

in cui n è la dimensione campionaria, crescente. In assenza di trend, infatti, la media progressiva tende asintoticamente al valore della media della popolazione, per il teorema del limite centrale. Gli andamenti delle medie progressive di η_j e ω_j sono stati rappresentati in grafico in funzione del tempo. Un ulteriore indizio della eventuale presenza di trend è stato ricercato esaminando l'andamento delle medie mobili delle due variabili selezionate, per tre diverse finestre temporali (o ordini) w , pari rispettivamente a 5, 10 e 30 anni:

$$M_{i,\eta}^{(w)} = \frac{1}{w} \sum_{j=i}^{i+w-1} \eta_j \quad (3a)$$

$$M_{i,\omega}^{(w)} = \frac{1}{w} \sum_{j=i}^{i+w-1} \omega_j \quad (3b)$$

Tabella 1. Ubicazione altimetrica delle stazioni considerate, numero di anni di osservazione (N), numero degli eventi piovosi (N_{ev}), media (μ) e coefficiente di variazione (CV) delle altezze giornaliere di pioggia (h_i), degli intertempi tra due eventi (Δ_i) e delle temperature annue (T_a)

Stazione	quota (m s.l.m.)	Pluviometria						Termometria		
		N (anni)	N_{ev}	h_i (mm)		Δ_i (giorni)		N (anni)	T_a ($^{\circ}C$)	
				μ	CV	μ	CV		μ	CV
Trapani	2	83	5367	7.2	1.21	5.7	2.11	74	18.2	0.05
Palermo	31	81	6000	8.1	1.31	5.1	1.97	76	18.3	0.04
Agrigento	313	84	5111	7.9	1.37	6.0	1.97	75	17.9	0.05
Caltanissetta	570	83	5535	8.0	1.30	5.5	1.90	71	16.5	0.09
Messina	54	79	7324	10.0	1.26	4.2	1.76	73	18.5	0.03

in cui $M_{i,\eta}^{(w)}$ e $M_{i,\omega}^{(w)}$ sono la media mobile di ordine w rispettivamente di η e ω dall'anno i all'anno $i+w-1$. L'esame del grafico che riporta l'andamento delle medie mobili in funzione del tempo consente di riconoscere l'eventuale esistenza del periodo limite (ciclo) oltre il quale non si riscontrano fluttuazioni significative. Le medie mobili hanno infatti la proprietà di rimuovere le creste e le valli più pronunciate delle serie, influenzate dalle fluttuazioni casuali, in modo da evidenziare le tendenze di lungo periodo.

Infine, nell'intento di riconoscere in maniera oggettiva la presenza di un eventuale trend temporale, per entrambe le variabili si è applicato il test statistico non parametrico di Mann-Kendall (Kendall et al., 1983; Sneyers, 1990) che non pone condizioni sulla forma della distribuzione della popolazione da cui è tratto il campione. L'esistenza di una correlazione seriale positiva aumenta la probabilità che l'applicazione del test di Mann-Kendall porti al rigetto dell'ipotesi di assenza di trend quando questa è vera (von Storch, 1995; Zhang et al., 2001). Secondo von Storch (1995), per la rimozione della correlazione seriale da un set di dati (y_1, y_2, \dots, y_n), è

Tabella 2 - Risultati del test di Mann-Kendall per i dati pluviometrici

Stazione	Altezze medie di pioggia, η	Intertempi medi tra due eventi, ω
Trapani	No	C
Palermo	No	C
Agrigento	No	No
Caltanissetta	No	C
Messina	D	No

No: non si è rilevato un trend

D: si è rilevato un trend decrescente

C: si è rilevato un trend crescente

necessario calcolare preliminarmente il coefficiente di autocorrelazione di lag 1, r_1 . La sequenza originaria viene quindi sostituita dalla seguente sequenza, detta “pre-whitened”: $y_2 - r_1 y_1, y_3 - r_1 y_2, \dots, y_n - r_1 y_{n-1}$. Secondo diversi autori, l’operazione di “pre-whitening” non è necessaria per valori di $r_1 \leq 0.1$ (von Storch, 1995; Zhang et al., 2001). Nel presente lavoro, allora, i dati sono stati modificati solo nei casi in cui il coefficiente di autocorrelazione di lag 1 è risultato maggiore di 0.1. In tutti i casi, il livello di significatività prescelto è stato pari a $P = 0.05$.

Il test di Mann-Kendall è stato utilizzato anche per l’analisi delle serie temporali dei dati di temperatura. In particolare, oltre alle temperature medie annue, per le quali si sono determinati anche gli andamenti temporali delle medie mobili, si sono considerate, per ciascun mese dell’anno, le temperature massime, T_{max} , minime, T_{min} , e medie, T_{med} .

Risultati

Pluviometria

Per le cinque stazioni in esame, la tabella 2 riporta una sintesi dei risultati del test del trend. A titolo di esempio, le figure 1 e 2 mostrano, per Messina, gli andamenti temporali dei valori annui di η e ω , nonché le medie progressive e le medie mobili calcolate per entrambe le variabili. In generale, si osserva una buona corrispondenza tra le tendenze rilevate con il semplice esame qualitativo degli andamenti temporali delle due tipologie di medie e quelle emerse con l’applicazione del test statistico alle serie dei valori di η e ω . Le altezze di pioggia giornaliera hanno mostrato in genere caratteri di stazionarietà, con la sola eccezione della stazione di Messina, in cui si è rilevato un trend decrescente. Gli intertempi tra gli eventi hanno mostrato una tendenza crescente a Trapani, Palermo e Caltanissetta e sono risultati stazionari ad Agrigento e a Messina. In generale, quindi, gli afflussi meteorici hanno mostrato una tendenza alla riduzione, principalmente a

causa dell'incremento dell'intervallo di tempo compreso tra due eventi successivi di pioggia. Solo per la stazione di Agrigento, che si caratterizza per il massimo intervallo di tempo tra due eventi successivi e uno dei più bassi valori dell'altezza di pioggia per evento (tabella 1), gli afflussi meteorici hanno mostrato carattere stazionario.

Figura 1 - Stazione di Messina: a) valori medi dell'altezza di pioggia giornaliera, η_ϕ per ciascun anno di osservazione e media progressiva di η_j ; b) medie mobili di η_j

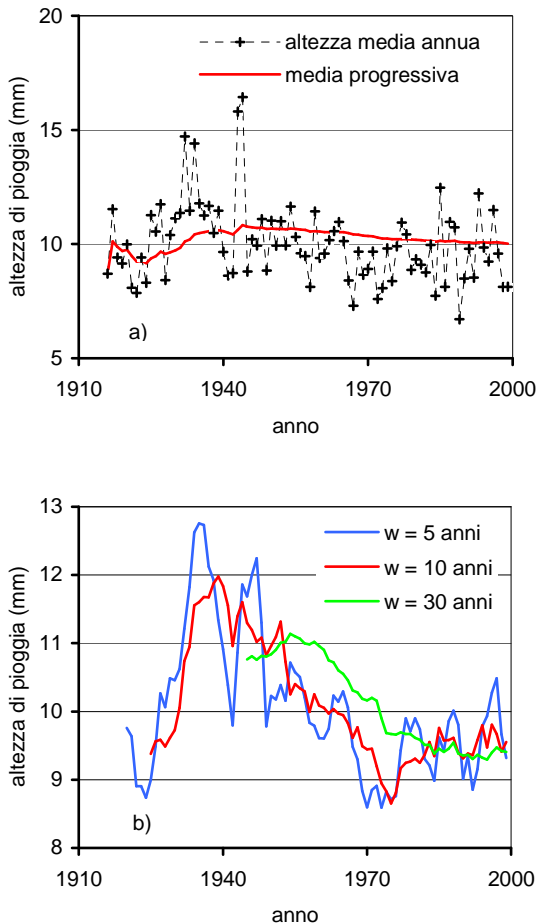
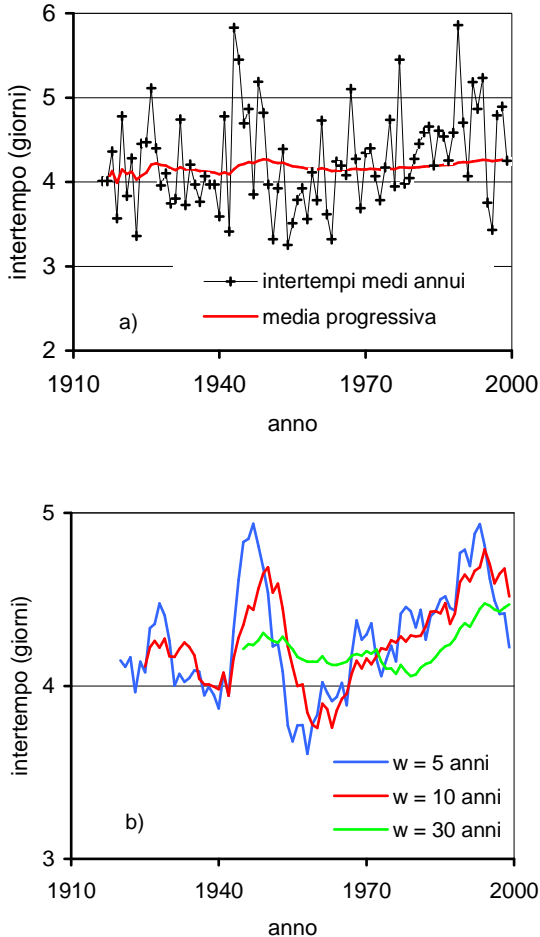


Figura 2 - Stazione di Messina: a) valori medi dell'intertempo tra due eventi successivi, α_j , per ciascun anno di osservazione e media progressiva di α_j ; b) medie mobili di α_j



In due casi l'applicazione del test del trend ai dati originali ha portato a risultati diversi da quelli ottenuti con la rimozione della correlazione seriale. In particolare, si sono rilevati un trend decrescente delle altezze medie di pioggia a Palermo e un trend crescente degli intertempi medi tra

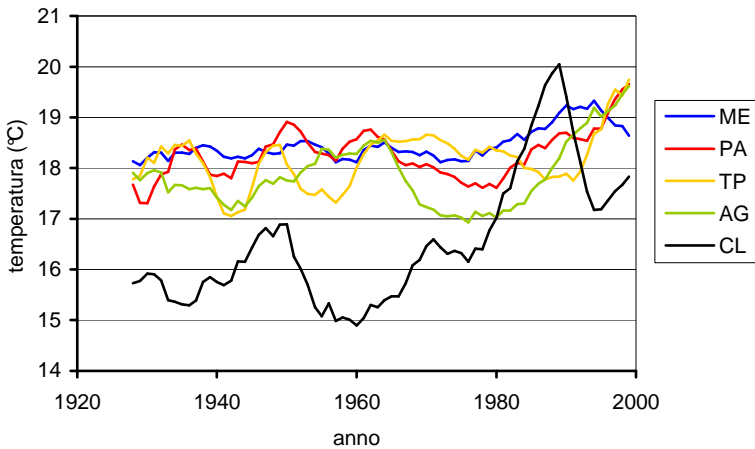
gli eventi a Messina. Questa discordanza necessita di specifici approfondimenti metodologici, essendo segnalato in letteratura che, con l'applicazione della tecnica di "pre-whitening", la potenza del test del trend, cioè la probabilità di rigettare l'ipotesi nulla quando questa è falsa, si riduce moderatamente solo per valori non molto elevati del coefficiente di autocorrelazione di lag 1 (von Storch, 1995; Douglas et al., 2000).

La tendenza alla riduzione complessiva delle precipitazioni è stata quantificata sinteticamente, valutando l'incremento del tempo necessario affinché si verifichi l'accumulo di una data quantità di pioggia. La suddetta grandezza tiene conto congiuntamente delle variazioni eventualmente intercorse a carico sia delle altezze di pioggia che degli intertempi tra gli eventi. Per le quattro stazioni che hanno mostrato una tendenza alla riduzione delle precipitazioni, il tempo necessario per accumulare un'altezza complessiva di pioggia di 200 mm è aumentato, nel corso del periodo esaminato, da un minimo di 6 giorni per la stazione di Messina a un massimo di un mese per quella di Palermo. Il tempo necessario per accumulare un'altezza di pioggia di 800 mm è cresciuto da un minimo di 1 mese a Caltanissetta e Messina fino a un massimo di 5 mesi a Palermo.

Termometria

Per le stazioni di Caltanissetta e Messina, il test di Mann-Kendall ha segnalato una tendenza crescente dei valori annui della temperatura media dell'aria. Per le rimanenti stazioni le serie sono risultate stazionarie. Prescindendo però dalla rimozione della correlazione seriale, anche per le stazioni di Trapani, Palermo e Agrigento si è riconosciuta una tendenza crescente. Un generale incremento, nel corso dell'ultimo ventennio, delle temperature annue è riconoscibile nel grafico di figura 3, in cui sono riportati gli andamenti temporali delle medie mobili di ordine 5 anni dei valori di T_a .

Figura 3 - Andamento temporale delle medie mobili di ordine 5 anni delle temperature medie annue per le stazioni considerate nell'indagine



L'applicazione del test di Mann-Kendall alle 180 serie temporali di dati termometrici mensili considerate in questa indagine (5 stazioni x 12 mesi x 3 variabili) ha evidenziato la presenza di trend in 82 casi (tabella 3). Prescindendo dall'operazione di "pre-whitening", si sono rilevati trend significativi per 109 serie.

Con riferimento alla temperatura media dell'aria, T_{meds} , per nessuna delle 60 serie temporali esaminate si è rilevata una tendenza decrescente mentre in 26 casi (43% del totale) si è riconosciuta una tendenza crescente.

Tranne che per la stazione di Caltanissetta, in cui il suddetto trend si è rilevato per quasi tutti i mesi dell'anno, la tendenza all'incremento della temperatura media dell'aria appare concentrata soprattutto nei mesi più freddi. Nei mesi compresi tra Dicembre e Febbraio, infatti, il trend è risultato crescente in 14 casi su 15 (93% dei casi) mentre nei mesi compresi tra Marzo e Novembre la tendenza crescente si è rilevata in 12 casi su 45 (27% dei casi). L'assenza di trend nelle temperature medie dei mesi di Aprile e Luglio è una caratteristica comune a tutte le stazioni esaminate.

Per quanto concerne le 60 serie temporali della temperatura massima dell'aria, T_{maxs} , si è rilevata una tendenza decrescente in 3 casi (5% dei casi) e una tendenza crescente in 21 casi (35% dei casi). Con riferimento alla temperatura minima, T_{mins} , invece, non si sono rilevate tendenze decrescenti mentre un trend crescente si è riconosciuto per 32 serie (53% dei casi). In generale, quindi, la tendenza crescente è più marcata per le temperature minime che per quelle massime. Il fenomeno è più evidente nella stagione calda. Infatti, nei mesi freddi (da Ottobre a Marzo), la temperatura minima è

cresciuta in 17 casi su 30 (57% dei casi) e quella massima è aumentata in 16 casi su 30 (53% dei casi). Nei mesi caldi (da Aprile a Settembre), l'incremento della temperatura minima, che è avvenuto in 15 casi su 30 (50% dei casi) è risultato decisamente più frequente di quello della temperatura massima, che si è rilevato in 5 casi su 30 (17% dei casi).

Tabella 3 - Risultati del test di Mann-Kendall per i dati termometrici

Stazione	Var	Mese											
		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Trapani	T_{max}	No	C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	T_{min}	C	C	No	No	C	No	C	C	No	No	No	C
	T_{med}	C	C	C	No	C	No	No	No	No	No	No	C
Palermo	T_{max}	No	No	No	D	No	D	D	No	No	No	No	C
	T_{min}	C	C	No	No	No	C	C	C	C	C	C	C
	T_{med}	C	No	No	No	No	No	No	No	No	C	No	C
Agrigento	T_{max}	C	C	C	No	C	No	No	No	No	C	C	C
	T_{min}	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	T_{med}	C	C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	C
Caltanissetta	T_{max}	C	C	C	No	C	C	No	C	C	C	C	C
	T_{min}	C	C	C	No	C	C	No	C	No	C	No	C
	T_{med}	C	C	C	No	C	C	No	C	C	C	C	C
Messina	T_{max}	C	C	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	T_{min}	C	C	C	No	C	C	C	C	C	No	No	C
	T_{med}	C	C	No	No	C	No	No	C	No	No	No	C

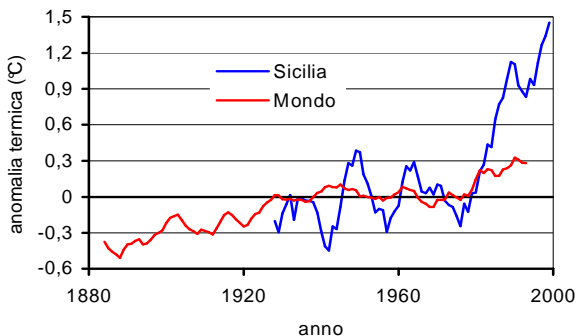
No: non si è rilevato un trend; D: si è rilevato un trend decrescente; C: si è rilevato un trend crescente

La tendenza evolutiva delle temperature dell'aria non appare omogenea nelle cinque stazioni considerate. In particolare, a Trapani, Palermo e Messina, le temperature minime hanno mostrato una tendenza crescente per 6-9 mesi dell'anno mentre, per quelle massime, la suddetta tendenza si è rilevata per soli 1-2 mesi. Per queste stazioni, la temperatura media ha mostrato un trend crescente in 3-5 mesi. Anche per la stazione di Agrigento, il trend crescente della temperatura media si è riscontrato in tre mesi. In questo caso, però, è prevalso decisamente l'incremento delle temperature massime, che si è osservato in 7 mesi, rispetto a quello delle temperature minime, che non si è rilevato mai. A Caltanissetta, infine, la temperatura media è cresciuta per la massima parte dell'anno (10 mesi), crescendo con frequenza simile (10 mesi per la temperatura massima, 8 mesi per quella minima) le temperature estreme.

In definitiva, l'incremento della temperatura dell'aria appare accertato e, pur non potendo generalizzare l'informazione acquisita, risulta più evidente nei mesi freddi che in quelli caldi. Per le stazioni che ricadono lungo la costa settentrionale dell'isola, le modificazioni più accentuate sono prevalentemente a carico delle temperature minime mentre per le due stazioni della Sicilia centro-meridionale l'incremento della temperatura media dell'aria dipende o dal solo incremento delle temperature massime o dal contemporaneo incremento delle temperature minime e massime.

Pur se il numero di stazioni considerate nello studio non consente di ritenere le indicazioni finora emerse del tutto rappresentative a scala regionale, si è anche tentato un confronto tra l'andamento temporale medio delle cinque serie di temperature annue rilevate alle stazioni di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina e quello rilevato su scala mondiale, dall'analisi di più di un secolo di dati di temperatura globale (Rosso, 1994). Per le due serie considerate, la figura 4 mostra le medie mobili di ordine 5 anni delle cosiddette anomalie termiche, cioè delle differenze tra la temperatura annua e la corrispondente temperatura media annua relativa al periodo 1950-79, considerato come periodo di riferimento (Strahler e Strahler, 1996). L'esame della suddetta figura evidenzia chiare similarità per le due serie considerate ("Sicilia", "Mondo") e, particolarmente, una tendenza all'incremento termico a partire dal 1975. Il suddetto incremento, al 1993 (ultimo anno di osservazione della serie "Mondo"), è pari a circa 0.3 °C per quanto riguarda i dati mondiali mentre si attesta su un valore di circa 0.8 °C per la serie di dati siciliani. La discrepanza osservata dipende probabilmente dal fatto che le stazioni di misura siciliane considerate ricadono tutte in aree urbanizzate, trattandosi di capoluoghi di provincia.

Figura 4 - Medie mobili di ordine 5 anni delle differenze tra la temperatura media del generico anno e la temperatura media del periodo 1950-1979



Considerazioni conclusive

La diminuzione delle precipitazioni e l'incremento delle temperature, con il conseguente aumento dell'evapotraspirazione, hanno un notevole impatto sul contenuto idrico del suolo. Viene modificata, infatti, la risposta idrologica del terreno sia in superficie, dal momento che si altera il bilancio idrico del suolo, che in profondità, a causa dell'alterazione nel bilancio degli acquiferi. L'impatto è duplice: da un lato questo fenomeno condiziona l'uso agricolo dei terreni coltivati causando, tra l'altro, maggiori consumi irrigui per le colture; dall'altro viene alterato sensibilmente il regime dei deflussi fluviali, con effetti sulla regolazione delle portate.

I risultati ottenuti nell'indagine, pur segnalando con chiarezza una apprezzabile variazione nel regime pluvio-termometrico, non possono essere considerati ancora definitivi e rappresentativi a scala regionale. E' necessario infatti approfondire in primo luogo la relazione che sussiste tra le indicazioni ottenute localmente e la metodologia di analisi statistica delle serie temporali applicata nello studio. Bisogna, inoltre, estendere l'indagine ad un numero più elevato di stazioni di misura in quanto, notoriamente, il riconoscimento di eventuali trend climatici a scala regionale si basa sull'esame di serie storiche di dati raccolti in punti discreti del territorio e sul rilievo di trend significativi per un numero di stazioni maggiore di quello atteso per caso. Per una fissata area geografica, evidentemente, il rischio di pervenire a conclusioni erranee si riduce al crescere del numero di stazioni incluse nell'indagine. Tenuto conto, inoltre, del fatto che le stazioni considerate in questa indagine ricadono tutte in aree urbanizzate, è necessario includere stazioni di misura ubicate in aree rurali al fine di ridurre la distorsione dovuta alle isole urbane di calore che influenzano direttamente il clima, innalzando artificialmente le temperature dell'aria.

Carmelo Agnese e Vincenzo Bagarello hanno organizzato e coordinato la ricerca. Giovanna Nicastro ha curato la raccolta e l'elaborazione dei dati. Tutti gli autori hanno contribuito ad analizzare i risultati e a scrivere il lavoro.

Bibliografia

- Cohen S.J. (1991). Possible impacts of climatic warming scenarios on water resources in the Saskatchewan River sub-basin, Canada. *Climatic Change*, 19:291-317
- Crisci A., Gozzini B., Meneguzzo F., Pagliara S., Maracchi G. (2002). Extreme rainfall in a changing climate: regional analysis and hydrological implications in Tuscany. *Hydrological Processes*, 16:1261-1274

- Douglas E.M., Vogel R.M., Kroll C.N. (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology*, 240:90-105
- Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums J.J. (1990). *The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University, UK, 365 pp.
- Kendall M., Stuart A., Ord J.K. (1983). *The advanced theory of statistics*. Volume 3, Charles Griffin & Company Limited, London & High Wycombe
- Moonen A.C., Ercoili L., Mariotti M., Masoni A. (2002). Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111:13-27
- Nearing M.A. (2001). Potential changes in rainfall erosivity in the U.S. with climate change during the 21st century. *Journal of Soil and Water Conservation*, 56(3):229-232
- Rosso R. (1994). *Effetto serra: istruzioni per l'uso*. Progetto Leonardo, Bologna
- Schlesinger M.E., Mitchell J.F.B. (1985). Model projection of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. In *Projecting the Climate Effects of Increasing Carbon Dioxide*, Rep.DOE/ER-0237, edited by M.C.McCracken and F.M.Luther, U.S.Dep. of Energy, Washington D.C.
- Smit B., Ludlow L., Brklacich M. (1988). Implications of a global climatic warming for agriculture: a review and appraisal. *Journal of Environmental Quality*, 17:519-527
- Sneyers R. (1990). *On the statistical analysis of series of observations*. Technical note n. 143, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland
- Strahler A., Strahler A. (1996). *Physical geography*. John Wiley & Sons, Inc., New York
- von Storch H. (1995). Chapter 2: Misuses of statistical analysis in climate research. pp. 11-26 in von Storch H. & Navarra A. Eds., *Analysis of Climate Variability – Application of Statistical Techniques*, Springer, Berlin
- Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., Yuzyk T.R. (2001). Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research*, 37(4):987-998